

多摩川水系・湯殿川における流域開発と降雨流出の変化

著者	吉岡 耀子
出版者	法政大学地理学会
雑誌名	法政地理
巻	47
ページ	31-42
発行年	2015-03
URL	http://hdl.handle.net/10114/10088

多摩川水系・湯殿川における流域開発と降雨流出の変化

吉岡 耀子

近年、豪雨時の河川氾濫が多発し、流域の都市化の影響が指摘されている。自然地では降雨は土地に十分に浸透してから河川に流れ出すのに対し、コンクリートや家屋などの人工被覆地では雨の多くは地表面を流れて直接河川に流れ込むためである。これを実際の場面で数値化して捉えることを目的に、本研究では都市化が進行する東京都八王子市の南部を流れる多摩川水系・湯殿川流域（流路延長9.8km、流域面積20.5km²、一級河川）を研究対象として、1998年から2013年までの15年間について、土地と流出の関係を調べた。期間中、流域内では大規模宅地開発が行われ、土地の浸透域面積が減少するにつれて降雨の流出率は増加し、降雨から流出までの時間差も短縮されていることが判明した。

キーワード：湯殿川、開発、浸透域、流出率、ハイドログラフ

Keywords: Yudono River, development, permeable area, run-off ratio, hydrograph

I はじめに

土地開発と洪水の関係が注目され始めたのは1960年代後半の高度経済成長期に遡る。都市近郊では宅地開発やビル建設によって広大な面積の山林が失われ、降雨は受け皿を失って川の増水をもたらした。とくに大河川では多くの支流から水が集まるため多摩川洪水（1974年）のような水害が発生した。こうした背景のもとで降雨と流出の関係について研究がなされてきた¹⁾。

しかしながら、実際の河川流域を舞台にした土地状態の変化とともに、降雨と河川流出の関係を調べた研究は少ない。そこで本研究では、近年大規模に宅地開発された流域を対象に、森林や畑などの面積変化を数値化して捉えると同時に、降雨が河川に流出する割合を流出率として算出することとした。これらの経年変化を比較することにより、都市化が河川流出に及ぼす影響を考察できると考える。

II 研究対象地域と研究方法

1. 対象地域の概要

研究対象地域として、多摩川中流域を流れる湯殿川を取り上げた。湯殿川は八王子市南西部の丘

陵地を流れる流路延長9.8km、流域面積20.5km²の一級河川で、都心から約40kmに位置する（第1図）。航空写真で見ると市街地と山林がこのあたりで境を接しており、都市開発のほぼ最前線に当たることがうかがわれる。

八王子市では1965年頃から全域にわたって大規模宅地開発と大学・病院等の建設が進められ、近年、自然環境は大きく変貌した。湯殿川流域は八王子市の中でも人口増加が目立ち、大規模宅地造成による土地改変の程度も大きい。しかし一方で流域に残された自然状態の土地もまだ残されており、都市では既に見られなくなった自然な河川形状による流量の観察と計測ができる。さらに、一級河川として自動降雨水位観測機（以下、降雨テレメータ、水位テレメータ）が多数設置されており、過去のデータを得ることができる。これら湯殿川流域を対象地域とした理由を次の3点にまとめる。

- ① 大規模開発による土地変貌が著しく、水循環への影響が考えられる
- ② 未だ自然の水循環が残されていて、計測や観察が行いやすい
- ③ テレメータによる降雨と水位の過去データが得られる

2. 資料と解析方法

研究項目である土地表面状態、降雨、水位の3項目に沿って、次のデータを収集・解析した。

1) 土地表面状態

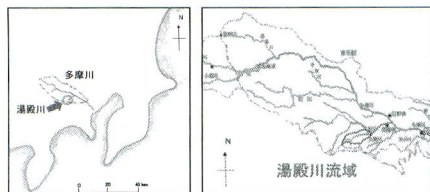
- ・「電子国土」国土地理院：空中写真、1998年～1990年、2007年（共に2万5千分1）
- ・NTT Geospace：航空写真（2万5千分1）、2012年

2) 降雨データ

- ・「八王子市気象年報」「八王子市気象月報」（八王子市）：八王子市内に設置された館（たて）観測所（湯殿川上流）、1988年～2013年の日別降雨記録。
- ・「過去データ・八王子」（気象庁）
- ・「川の防災情報」「水文水質データベース」（国土交通省）：流域内および周辺に設けられた降雨テレメーターのうち次の3箇所の観測所データを使用した。
片倉2003年～2013年（データ管理：東京都南多摩西武建設事務所）
八王子1998年～2013年（データ管理：東京都南多摩西武建設事務所）
高尾1982年～2013年（データ管理：国土交通省京浜河川事務所）

3) 水位データ

- ・「川の防災情報」「水文水質データベース」（国土交通省）：湯殿川本流および支流に設けられた3箇所の水位観測所のうち春日橋（浅川への合流点手前）に近い東橋観測所の水位記録を使用した。



第1図 湯殿川位置図
(右図出所：建設省京浜工事事務所)

- ・測定点の河川構造図、2013年（東京都南多摩西武建設事務所）：流量算出に必要な河川の断面積をここから計算した。

4) 対象期間

降雨と水位のデータがそろそろもっとも古い年代は、東橋の水位記録が完備した1998年で、研究期間は1998年～2013年の15年間と定めた。

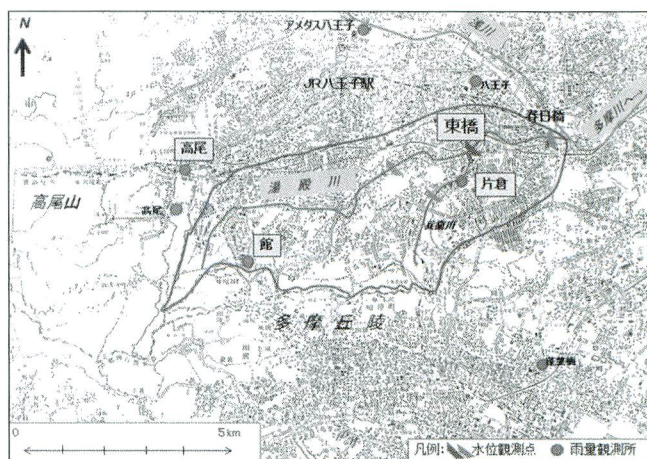
5) 解析方法

流域図作成：流域界を地形図（国土地理院、2万5000分1）の稜線と行政界から読み取り、東京都建設局による流域図を参照しながら確定し、ここに湯殿川の本支流と水位観測所、雨量観測所を書き加えた（第2図）。

土地利用データの読みとり：年代の異なる3枚の航空写真（第4図）について土地表面状態を目視によって浸透域と難浸透に区分し（区分内容はⅢ1、P33参照）、流域面積における浸透域の割合を算出した。

降雨データの解析：館観測所における対象期間15年間の日雨量記録に依拠して、①降雨強度、②降雨時間、③前後の無降雨日等の基準を設けた上で19の降雨事例を抽出し、事例ごとに総降雨量aを算出した。

水位・流量データの解析：東橋水位観測所にお



第2図 湯殿川流域図
(国土地理院2万5千分の1地形図に加筆)

ける流速を計り、それぞれの水位における河川断面面積（以下、河積）を乗じて流量を算出した上で、水位流量曲線（H Q カープ）とその回帰式を得た。

回帰式に19降雨の日時の水位を代入して過去の流量 b を算出した。

流出率：以上の総雨量 a と流出量 b から流出率 b/a を計算し、併せて降雨と流量のハイドログラフも作成した。

流出率とハイドログラフにおける経年変化を調べ、土地表面の変化との対応を考察した。

Ⅲ 土地利用および浸透域面積の変化

1. 大規模宅地開発と1994年までの土地利用変化

東京都の都市化は多摩川に沿って西へ進み、多摩地区の都市化をもたらした。八王子市はそのほぼ最前線にあたり、市内南西部の丘陵地帯では1965年から1980年にかけて大規模宅地開発と大学等施設の建設が集中した。近年は八王子ニュータウン・みなみ野シティが都市再生機構により400ヘクタールの規模で建設されている（都市再生機

構2008）。湯殿川を含む浅川流域全体の市街化率は、昭和52（1977）年に30%、平成13（2001）年には42%へと15%拡大している（東京都2006）。

湯殿川流域の土地利用については、以下の解析がなされている。

・1966年→1975年の変化（田畑1979）

土地表面の状態を①自然地、②半自然地、③非自然地に分類して年代比較したところ、③非自然地の面積割合が1966年に18%だったのが、1975年には40%へと、9年間で2倍以上に増大した。①②③の分類内容は①自然地は針葉樹林、広葉樹林、竹林、②半自然地は田、畑、桑畑、果樹等樹木畑、荒地、③非自然地は緑の多い住宅地、住宅地、未利用宅地、ゴルフ場・墓地等、調整池、その他道路等である。

・1974年→1994年の変化（大森2002）

この期間において、浅川圏域7支流のうち湯殿川流域の土地利用変化はもっとも著しい。20年間で「山林・荒地」が50%から30%へと減少し（20%減）、入れ替わるように「その他」が19%から39%へと増加した（20%増）²⁾。「その他」に含まれる項目は河川、道路、造成地などで、道路と造成地の拡大が「その他」の急激な増加をもたらしたと考えられる。

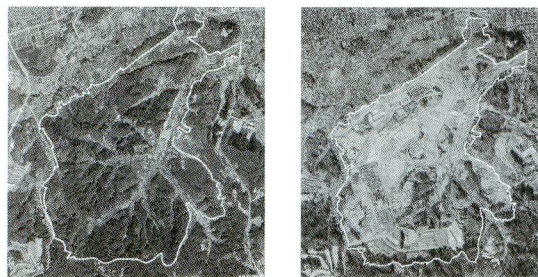
以上により1966年から1994年までの土地利用変化の概要が把握できた。

2. 浸透域と難浸透域の面積比率変化

1) 浸透域の減少

本研究では、年代の異なる3枚の空中写真において、浸透域（山林、田、畑、公園、河川、湖沼）と難浸透域（道路、建物、造成地）を目視により判別した。対象地域は、観測点・東橋までの流域（以下、東橋流域）とした。ここより下流には水位データはない。

空中写真は国土地理院の「電子国土」①1989～1990年（以下、1990年）、②同2007年、③NTT Geospace2012年版を用いて、山林や田畑などの浸透域を区分し、方眼法³⁾によって面積割合を計算した（第4図）。これにより、東橋流域における浸透域面積割合は次のように算出された。



第3図 ニュータウンの位置図（上、都市再生機構2008より）と開発前後の様子（左1990年、右2006年）

- ① 1990年 0.62 (62%)
- ② 2007年 0.45 (45%)
- ③ 2012年 0.43 (43%)

これ以外の部分は、住宅地と建物、規模の大きい道路などの、雨水が浸透しない難浸透域に区分する。浸透域の減少は自然地の後退と読み替えることができ、難浸透域の増大でもある。①と②の間には八王子ニュータウンの建設準備が始まり、2007年の街開きに先立って予定地の原野400ヘクタールの大部分が切り開かれて道路と造成地に姿を変えている。②から③にかけては既に大部分の土地改変が終わって造成地に住宅が立ち並んだ時期であり、緑地は少しずつ減少したものの浸透域の割合に大きな変化はない。

土地表面の状態については住宅数の変化が影響するので、併せて東橋流域に含まれる町丁世帯数⁴⁾を調べた(第5図)。1988年、2007年、2013年の3年代における世帯数は1.9万世帯、3.2万世帯、3.6万世帯と増加した。

2) 土地表面の浸透能

以上に、土地表面の状態を雨水浸透域と難浸透域に大別して面積割合を出したが、「土地被覆条件別の終期浸透能」(村井・岩崎1975, 杉田2009文献中)には土地表面状態における浸透能力の実測値が示されているので、開発地に当てはまる項

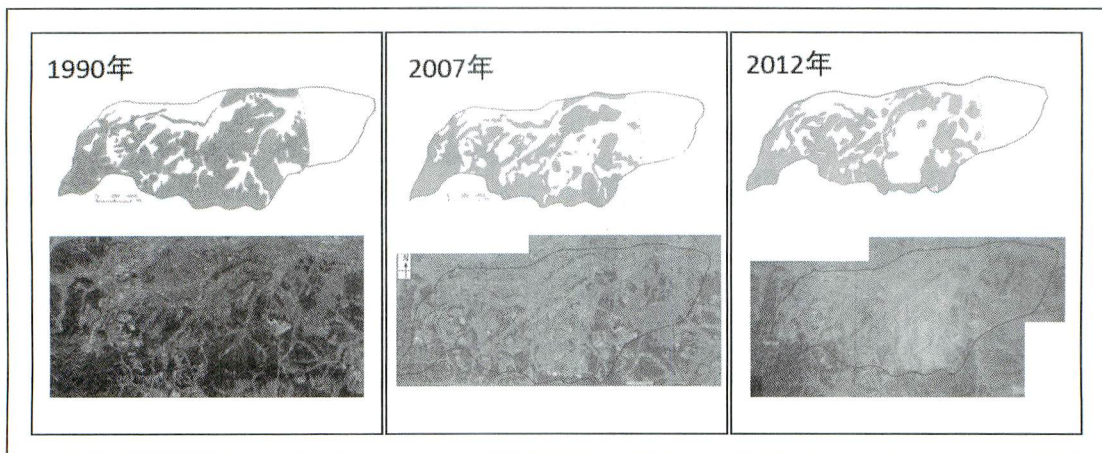
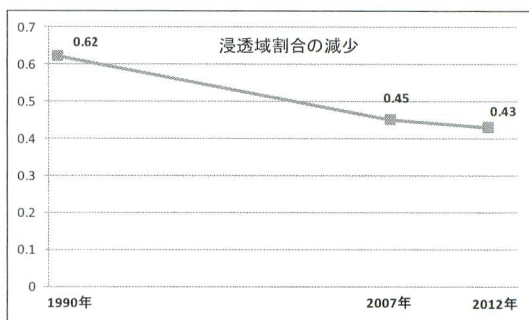


第5図 平成23年6月末現在 八王子市「町丁別世帯数および人口報告書」より

目を以下に抜粋した。単位の mmh^{-1} は、土地に降った雨が1時間に浸透する深さを表す。

・林地・・・広葉樹天然林 271.6

(単位： mmh^{-1})



第4図 東橋流域の浸透域面積割合(左から1990年0.62, 2007年0.45, 2012年0.43)と, その変化図(右上)

・伐採跡地・	軽度の擾乱	212.2
	重度の擾乱	49.6
・草生地・	自然草地	143.0
	人工草地	107.3
・裸地・	畑地	89.3
	歩道	12.7

これによると、林地伐採によって宅地が造成された場合は浸透能18%以下に、道路ができた場合には5%以下に低下する(それぞれ、「重度の擾乱」と「広葉樹天然林」の比率,「道」と「広葉樹天然林」の比率により計算)。「畑地」が「歩道」に変わると7分の1に減少する。

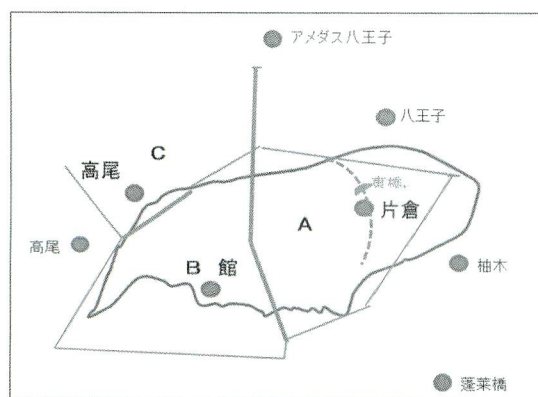
IV 降雨量と流量の算出

東橋流域に降った雨の総量と河川に流れ出す流量の割合を流出率として算出し、年代によってどのような違いがあるかを検証する。作業の初めに、降雨を抽出してひと雨の総降雨量を計算し、次に降雨に対応する時間帯の水位から水位流量曲線(HQカーブ)回帰式により総流出量を算出した。

1. 降雨量の算出

1) テーセン法による流域面積の分割

流域内に降る雨は一律ではなく、場所によって時間や強度に差が生じるので、より正確な総降雨量を求めるためにここではテーセン法⁵⁾を用いた。これにより、流域内外12箇所(図では一部略)の雨量観測所を直線で結んで地図上に多角形



第6図 テーセン法による東橋流域の面積配分

を描くと、東橋流域の総面積17.34km²は3か所の観測所を中心とした地域に分割される(第6図)。以下は各面積と、全流域に占める割合。

- A. 片倉観測所(東京都管轄)・・・9.07km²(52.3%)
- B. 館観測所(八王子市管轄)・・・7.88km²(45.4%)
- C. 高尾観測所(国土交通省管轄)・・・0.39km²(2.3%)

2) 降雨事例の抽出

八王子市では長年にわたる気象記録を保管しており、上記の館観測所においても30年間の日雨量が記録されている。館観測所はティーセン法による面積割合が約半分(45.4%)を占めているので流域を代表できるものとし、ここの降水記録から研究対象の事例を抽出した。抽出に当たり、流出との関係をできるだけ明確に読み取るために、以下の基準を設けた。

- ① 降雨時間は3日以内・・・降雨が長引くと流出との対応が読み取りにくくなるので、3日にわたる降雨までを限度として抽出(基準外1例)。降雨が連続して6時間確認されなかった場合はここを区切りとする⁶⁾。
- ② 累積雨量は80mm以上・・・少降雨ではその多くが地中に浸透して河川流出量が少なく反応が読み取りにくいので、多雨の例を取り上げる。①の基準に適合した降雨の中から、150mm以上14例、80mm～149mm 16例、合計30例が抽出された。
- ③ 降雨開始前の無降雨時間4日以上・・・先行降雨による地中貯留水が少ないように、無降雨時間をできるだけ長くとる。6日を超える無降雨事例が多かったが、一部基準外の場合でも長期間の合計雨量が少ないことを前提とした。ここで降雨は25例に絞り込まれた。
- ④ 降雨停止後の無降雨3日(72時間)以上・・・降雨停止後の流量減衰を見るために次の降雨までの時間を十分に長くとった。5mm以下までを無降雨に含める。

以上の条件を満たす降雨として、館観測所1998～2013年の15年間降雨中、19例を抽出した。

3) 面積雨量の算出

ついで各降雨事例についてティーセン法によって面積雨量を算出する。雨量データがそろっていない事例については観測所ごとに次のような基準を設けて補正し、または代替データを用いた。

・片倉観測所・・・テレメーターが設置されたのが2003年なので、それ以前の降雨については、八王子観測所（国土交通省、東京都管理）と館の雨量の平均値を用いた。

・館観測所・・・対象期間内の日雨量データは完備しているが時間雨量の記録は保管されていないので、降雨量の近似を調べて数値の近い順に①片倉 ②高尾の時間雨量を代替データとして用いた。

4) 総降雨量

以上の手順により19事例の流域総降雨量を算出した（第1表、P.38）。期間中の最大値は2013年9月の台風18号による $4.36 \times 10^6 \text{ m}^3$ で（国土交通省 河の防災情報、2013より）、このときは累積雨量でも最大値を示している。

2. 流量の算出

1では流域という器に降り注いだ雨の総量を調べたが、次に降雨が地表や地中を通して河川に集まりひとつの出口から流れ出す流量を計算する。流量計算は次の式で表される。

$$\text{流量 (m}^3/\text{sec)} = \text{流速 (m/sec)} \times \text{河積}^* (\text{m}^2)$$

※河積は河の断面積（以下、河積）

河積と流速は以下のように求めた。

1) 河積の計算（第7図）

水位テレメータ設置位置の河川断面図（第7図中段、2013年東京都による構造図）より各水位における面積を算出した結果、次のような水位と河積が得られた（主なものを抜粋）。

- ・水位0.48m時における河積 4.40 m^2
- ・水位0.53m時における河積 5.19 m^2
- ・水位1.00m時における河積 0.96 m^2

2) 流速測定

水位記録機のある東橋において、浮子法（表面浮子）により各5回ずつ計測し、平均値を求めた。表面浮子による表面速度は風の影響を受けやすいので、一定の基準（土木学会、1971）を用いて河川の鉛直断面内の流速に補正し、45水位における流速データを得た。

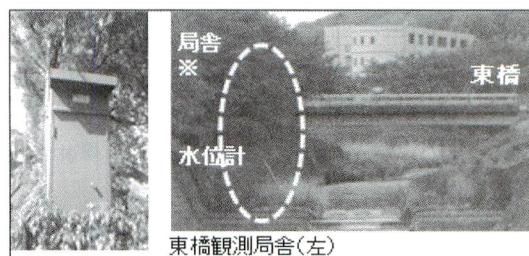
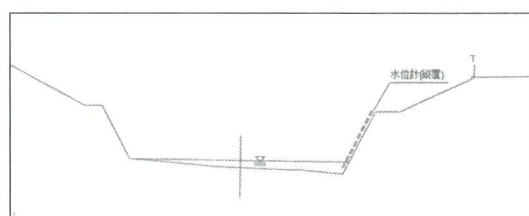
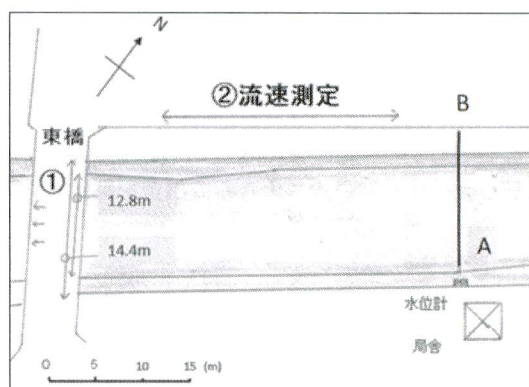
主な水位と流速は次のとおり。

- ・水位0.31～0.36m：流速 $0.1 \sim 0.12 \text{ m/sec}$
- ・水位0.44m：流速 0.3 m/sec
- ・水位0.60～0.61m：流速 $0.35 \sim 0.54 \text{ m/sec}$

3) 流量計算

計測した45水位について、

$$[\text{流量 (m}^3/\text{sec)} = \text{流速 (m/sec)} \times \text{河積 (m}^2)]$$



第7図 流速測定地点図と河川断面図（上、中）、水位観測テレメータ（下写真2点）

の式により、主な水位における流量は次のように算出された。

- ・水位0.31m時における流量0.54m³
- ・水位0.61m時における流量2.72m³
- ・水位1.00m時における流量10.06m³
- ・水位1.45m時における流量25.07m³

4) 水位流量曲線（H Qカーブ）

次いで算出した流量とその時の水位との関係から、東橋における水位流量曲線（H Qカーブ）と、これを示す多項式近似曲線の回帰式を求めた。この場合、a 水位を x 軸におく場合と b 水位を y 軸におく場合で、回帰式は次のように示される。

[H Qカーブ回帰式]

a （水位を x 軸に）

$$y = 10.334x^2 + 1.1499x - 0.2411 \quad \cdots \cdots a$$

グラフ曲線は下に凸

b （水位を y 軸に）

$$y = 0.0017x^2 + 0.0848x + 0.3332 \quad \cdots \cdots b$$

グラフ曲線は上に凸

流量計算においては [x軸：水位, y軸：流量] とし、a 式を用いて水位から流量を求めた。ただ

し水位流量曲線では凸グラフが用いられることが多いので、ここでは a b を併せて示す（第8図）。

5) 流出時間

次に、H Qカーブの回帰式（以下H Q回帰式）により、19降雨に対応する水位から流量を算出した。事例ではほとんどの場合、減衰には時間を要し増水前水位に戻る前に次の降雨が始まっている。このため流量算出の範囲を降雨停止後72時間までとした。従って流出時間は「降雨時間+72時間」となり、この時間内すべての時間水位からH Q回帰式によって流量を算出した。こうして得られた総流量は次の式で表される。

$$\text{流量計算式} \quad QT = \sum_{i=1}^n qi \quad \cdots \cdots c$$

QT：ひと雨の降雨に対応するある時間内の総
流出量

qi：i時間の流量

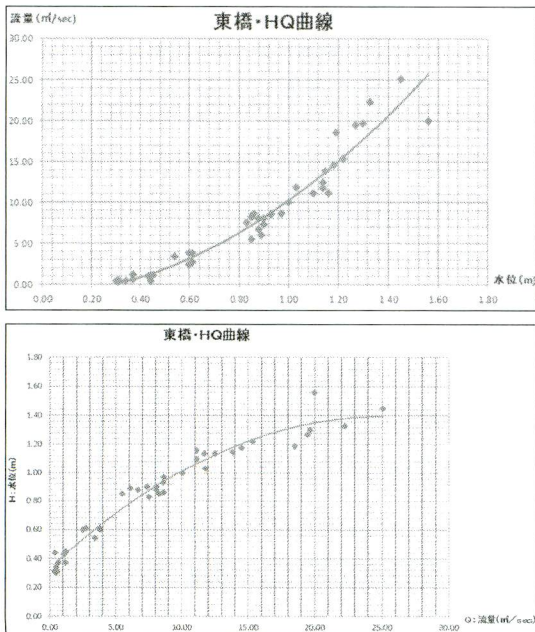
n：求める時間数（降雨時間+72時間）

6) 成分分離

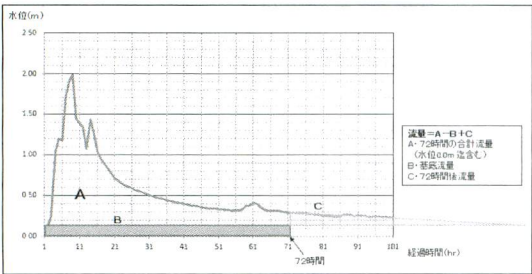
以上で求めた全流量には増水以前から流れている量（基底流量）が含まれているので、実際に流出した量を算出するためには、流出成分を分離した上でこれを差し引かなければならない。流出成分は通常、①直接流出（降雨直後からの流出）、②中間流出（時間をおいて河川に到達し流出する量、排水口、道路側溝からの雨水を含む）、③基底流出（地下流出、水位上昇前の流量に相当）の3種、または①②を合わせた直接流出と③の2種類に分離される。

本研究では後者のように直接流出と基底流出の2種に分けた。基底流出は、当該降雨による水位上昇前の流量（または水位）をハイドログラフ上で水平に延長した線の下の部分とした。総流出量は、基底流量の水平線と減衰曲線の交点から上の部分の総和であり、式cの結果から基底流量を差し引いて求める。

しかし一方では、降雨停止後72時間の時点でも水位は元に戻らず減衰途上であり、継続する流出量がある。そこで、72時間以降の流出量と72時間以内の基底流量は相殺できる関係ととらえて、式



第8図 東橋における水位流量曲線



第9図 流出量算出の考え方

cで得た数値をそのまま総流量と読み替えた（第9図）。

7）河川水の流出入要素

河川への水の流出入には降雨以外にいくつかの要素が考えられる。しかし降雨量に比べていずれも量は少なく、以下のような理由により流出を考える上で無視することができると考える。

○地下水：流域の分水界が稜線によって定められている場合は、地下水の流域外からの流入と流域外への流出は考えにくい（森1988）。湯殿川はこれに当てはまる。

○下水：湯殿川流域を含む浅川圏域では下水道が

整備されていて、河川に家庭の下水処理水が流されることはない。浅川処理区の下水道整備率は、平成17年度（2005年）に95.5％、平成24年度（2012年）には99.9％となっている（八王子市水循環部）。

○農業用水：農業用水はおもに水田で使われてきたが、近年の水耕面積減少によって農業用水の利用も減少している。また農業用水は、河川から引いた水を田畑に利用したあと再び河川に戻す、いわば循環的な使用なので、年間を通して流出量に大きな影響は与えないと考えられる（八王子市農業課）。

V 流出率の事例比較

1. 先行降雨の影響と年代比較

流出率は流域の形状や土地表面の状態を反映するといわれる。前章で算出した19事例の総降雨量（PT）と総流量（QT）から、流出率（QT／PT）を計算した結果、19の流出率は最小0.28から最多0.77までの値を示した（第1表）。

流出率を年代比較するに当たり、土地の乾湿に

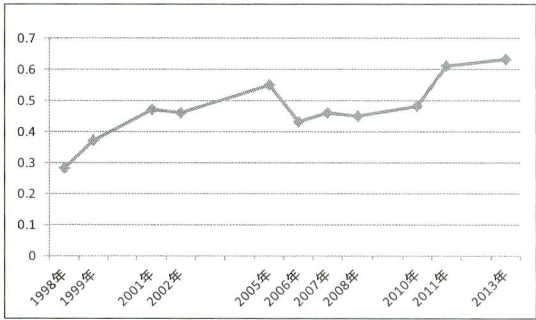
第1表 降雨事例ごとの流出率と先行降雨の影響

※流出量および雨量の単位：10⁶m³

降雨番号	降雨年	降雨日	総流出量/総降雨量 ＝流出率 [※]	連続無降雨以前の状況（先行降雨、乾燥など） 数字は降雨量（mm）	先行降雨による影響	年代比較の対象
1	1998	9/15～9/16	1.17/4.16＝0.28	20日前に360.5、直前一日で26.5	△	○
2	1999	4/10～4/12	1.17/2.55＝0.46	1、2、3月通じて小雨のみ		○
3	1999	4/23～4/25	1.01/1.69＝0.60	降雨番号2の貯留、前10日間で188、期間長い	△	
4	1999	10/27	0.47/1.69＝0.28	前1か月ほぼ無降雨、2か月前まで小雨のみ		○
5	2000	7/7～7/8	1.69/2.68＝0.63	前1か月に断続的に278（6、7月の梅雨）	△	
6	2000	9/23～9/24	1.28/2.21＝0.58	前20日間で計209	△	
7	2001	8/21～8/22	1.67/3.75＝0.45	---		○
8	2001	10/8	1.10/2.27＝0.48	---		○
9	2002	7/10～7/11	1.65/3.60＝0.46	前8日間で0.5		○
10	2002	10/1	2.29/3.69＝0.62	3日前の45貯留か、その前17日ほぼ無降雨	△	
11	2003	8/8～8/9	1.28/2.08＝0.62	3日前に66.5	△	
12	2004	10/19～10/20	2.87/3.72＝0.77	9/23～断続的に4回降雨、10月上旬199、中旬346	△	
13	2005	7/25～7/26	1.75/3.17＝0.55	---		○
14	2006	8/9	1.01/2.35＝0.43	---		○
15	2007	10/27	0.89/1.94＝0.46	乾燥、前24日間で18.5		○
16	2008	8/5	1.12/2.51＝0.45	乾燥、前26日間で14		○
17	2010	10/9～10/10	0.80/1.66＝0.48	---		○
18	2011	7/19～7/21	1.68/2.74＝0.61	---		○
19	2013	9/15～9/16	2.75/4.36＝0.63	---		○

影響を与える先行降雨に注目し、先行降雨量が極めて多い降雨番号5, 6, 12を除外した。さらに3日前に45mm降雨のあった降雨番号10と、3日前に66.5mm降雨があった11番を除き、残り13事例の流出率から経年変化を見た(第10図)。

グラフでは、多少の増減を組み込みながらも年代とともに流出率が上昇する傾向がみられる。



第10図 1998～2013年の流出率変化

2. 降雨規模の影響と年代比較

次に、上記13事例を対象に、降雨規模を考慮して流出率の変化を見た。累積雨量200mm以上をAグループ、199mm以下をBグループとしたところ、以下のように5事例と9事例に分類された。

Aグループ 累積雨量：200mm以上、降雨番号1, 7, 9, 13, 19

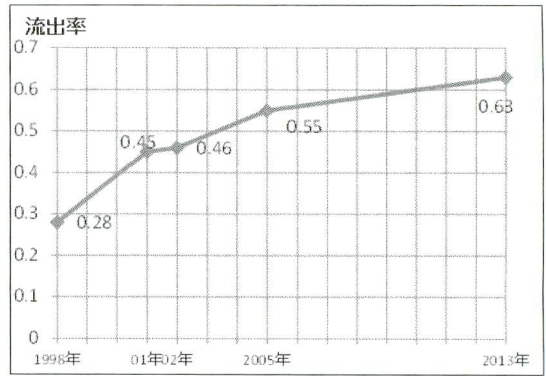
Bグループ 累積雨量：199mm以下、降雨番号2, 3, 4, 8, 14, 15, 16, 17, 18

これらの降雨規模は、Aグループでは平均累積

第2表 降雨規模別の流出率、A（上）、B（下）

降雨番号	年	降雨時間 hr	累積雨量	流出率
1	1998	15	240	0.28
7	2001	28	240	0.45
9	2002	27	201	0.46
13	2005	25	213	0.55
19	2013	30	254	0.63

降雨番号	年	降雨時間	累積雨量	流出率
4	1999	14	98	0.28
8	2001	19	139	0.48
14	2006	13	134	0.43
15	2007	18	100	0.46
17	2010	22	86	0.48



第11図 多雨5事例の流出率変化

雨量230mm、平均降雨時間は25時間となる。

Bグループでは降雨時間13～22時間の範囲内5例(第2表、下)に絞り込んで見ると、平均累積雨量111mmでAグループの約半分、平均降雨時間は17時間でAより8時間短くなった。

一般に小雨においては降雨量・流量ともに少量であるために流出率の変化は現れにくく、湯殿川の場合も同一時期における同一の土地表面状態

(浸透率)でありながら、降雨規模の小さいBグループにおいてはAグループのような差が現れていない。降雨規模の大きなAグループの流出率では経年的な上昇傾向が現れた(第11図)。

VI ハイδροグラフに基づいた流出特性

1. 降雨と流出の時間的な関係

前章の流出率では降雨と流出の量的な関係を見たのに対し、流量または水位を時間経過で示すハイδροグラフでは降雨と流出の時間的な関係を見ることができる。

ハイδροグラフによる主な分析内容には次の3項目がある。

① 出水時間の遅れ

降雨開始時刻から河川の水位上昇(または流量増加)までの時間差を指す。一般に自然状態の土地では雨水が多く浸透して流出までに時間がかかるので時間差は大きい。反対にコンクリートなどの人工的な被覆状態では地表を流れて直接河川に流れ込むために時間差は短い。

② ピーク時間の遅れ

最大降雨が記録された時刻から、河川のピーク水位（流量）出現までの時間差。土地表面の浸透域割合が高いほど時間差は大きく、難浸透域が増えるにつれて時間差は短縮される。

③ 流量の減衰率、または洪水波形の先鋭化

自然地減少により増水時も減衰時も速度が速く、ハイドログラフは急角度の形状を示す。

第3表

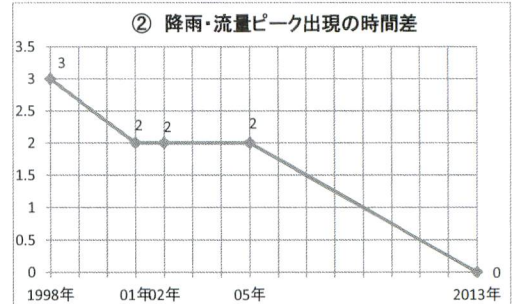
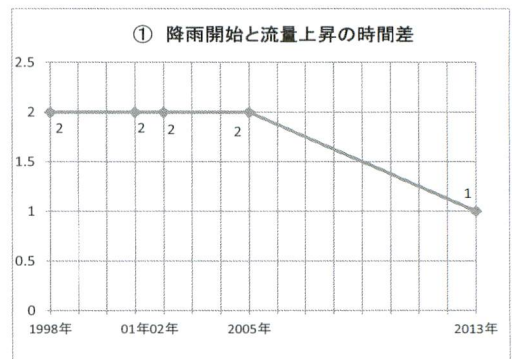
降雨番号 (年)	①出水時間の 遅れ(時間)	②ピーク時間 の遅れ(時間)	最大降雨量 (mm)	ピーク流量 (m^3/sec)
1 (1998)	2	3	45	41.6
7 (2001)	2	2	15	29.8
9 (2002)	2	2	27	31.3
13 (2005)	2	2	22	32.0
19 (2013)	1	0	34	35.9

2. 降雨流出時間の年代比較

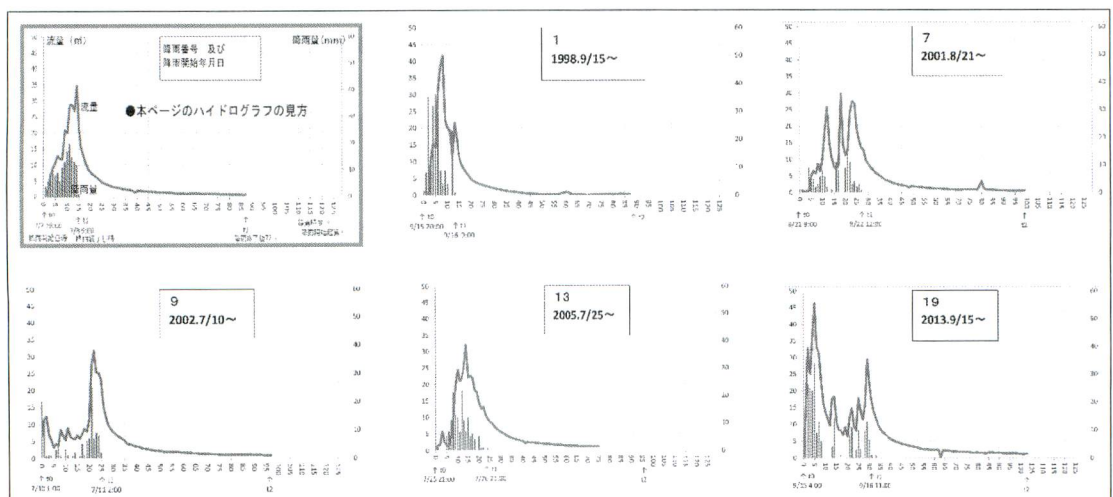
Ⅳ 1. で抽出した19事例についてハイドログラフを作成し、①降雨開始と水位上昇の時間差、②最大降雨とピーク流量出現の時間差を調べたところ、19例すべてにおける①②の時間差は0～3時間で、経年的な時間短縮傾向は見られなかった。また流量最大値（以下、ピーク流量）は都市化によって増加するとされているが、本研究の19例においては増加傾向は確認されず、流量の減衰カーブも、明確な形状の違いは読み取れない。

さらにⅤ 1. の多雨・Aグループ5事例では時間差は、①で2時間以内、②で3時間以内で、③流量カーブ形状については目視による違いは見られない（第3表、第12図、第13図）。

以上、ハイドログラフにおける降雨と流出の時間関係には部分的に年代変化が現れていた。

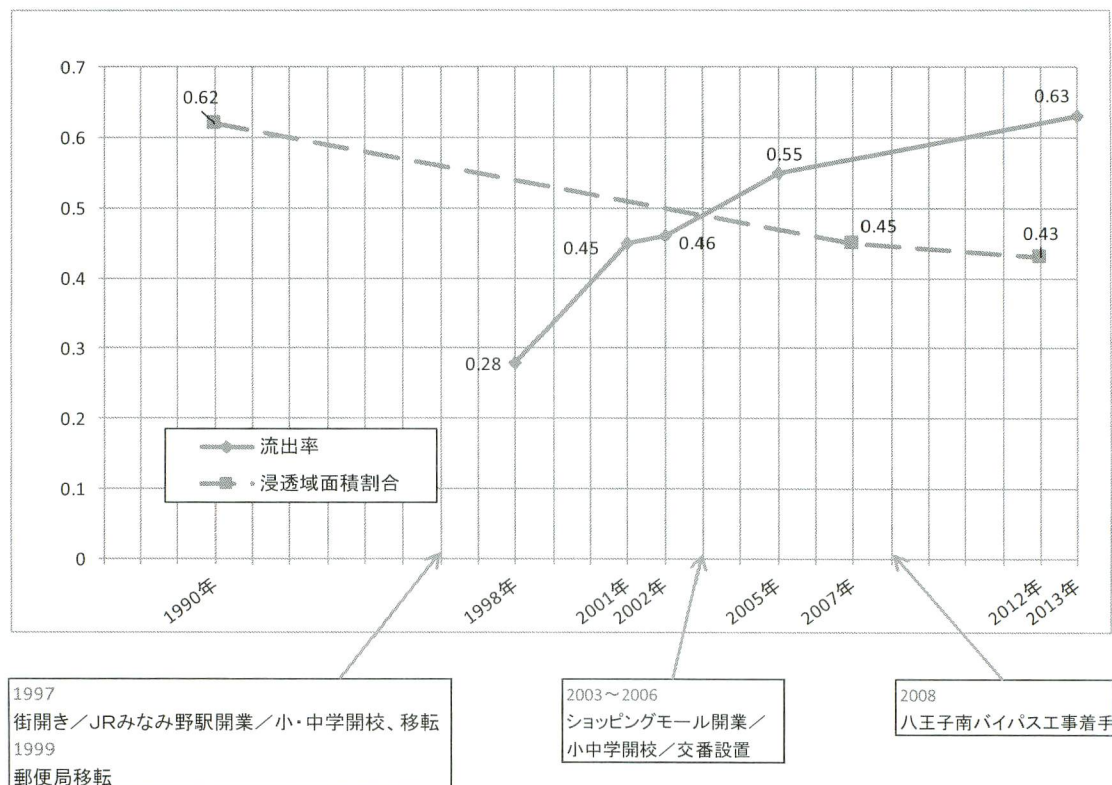


第12図 降雨—流出の時間差



第13図 多雨5事例のハイドログラフ

VII 流出特性と都市化との対応



第14図 浸透域面積の減少と流出率の上昇

流出率と流域の都市化との対応を見るにあたり、流出率は多雨の5事例（第2表）を取り上げ、都市化の要素として流域の浸透域面積割合とニュータウン開発歴を取り上げて組み合わせた（第14図）。浸透域面積割合が減少するのに対して、流出率は交差するように上昇している。流域開発により降雨流出率が増加することが確認された。

VII おわりに

1. 結果

都市化が進行する多摩川水系・湯殿川流域（東京都八王子市）において、1998年から2013年までの過去15年間に、降雨と流出の関係は以下のように変化したことが把握できた。

- ① 流域の浸透域面積割合は1990年の0.62から、2007年に0.45、2012年には0.43に減少した。こ

の時期には八王子ニュータウン建設により400ヘクタールの土地が開発された。

- ② 15年間の降雨データ中の13事例比較で流出率の上昇が見られ、さらに降雨規模の大きい5事例では上昇が明確に表われた。
- ③ ②の5事例におけるハイドログラフでは、降雨から流出までの初期時間差で1時間、ピーク出現時時間差で3時間が短縮されていた。
- ④ ①浸透域面積割合の減少と②流出率上昇、および③ハイドログラフにおける降雨から流出までの時間差の対応に関連が見られる。
- ⑤ 浸透域、流出率、ハイドログラフの変化傾向は、ニュータウン造成が進められた2007年以前には顕著で、土地開発が山場を過ぎた2007年以降では緩やかになっている。ここからも土地変化が河川流出に与える影響が読み取れる。

2. 考察

降雨の受け皿である流域が開発されて、河川への流出が増加したことが確認された。その影響として、河川では下流での急激な増水と洪水の危険がもたらされ、一方では地中への雨の浸透を失って地下水が減少し井戸水や河川が枯れるなどの危険が生じる。本研究を契機として今後とも自然に及ぼす都市化の影響を考察していきたい。

謝 辞

本論文は2013年度修士論文を加筆・修正して作成しました。修士論文をご指導いただいた法政大学大学院人文科学研究科地理学研究室・佐藤典人教授に御礼申し上げます。降雨・水位データを東京都土木技術人材センター河川緑化支援係、八王子市防災課、国土交通省京浜河川事務所調査課、東京都南多摩西武建設事務所工事課、八王子市水循環部からご提供いただきました。厚く御礼申し上げます。

注 記

- 1) 主な関係論文は以下のとおり。都市河川における流出変化および水害を定量化して示した宮田 正 (1969)、小流域における流出率と雨量、総流量とピーク流量および流出継続時間などの相関を調べた尾上清利、佐藤典人 (1986)、降水量と蒸発散量から見た長期的・平均的な水収支を考察した森 和紀 (1988)、東京都多摩地区における1991年の被覆率、雨水浸透量、流出率を算出した飯田輝男 (1999)。
- 2) 国土地理院・細密数値情報 (10mメッシュ土地利用・首都圏版, 1974年版, 1984年版, 1989年版1994年版) のデータを、GISアプリケーションにより項目別面積計測した。分類項目は「山地・荒地等、農用地、住宅地、商業・業務用地、その他」の5項目とし、「その他」には造成中地、空地、道路用地、公園・緑地等、その他の公共公益施設用地、河川・湖沼等を含む。
- 3) 方眼法 (東郷, 2009)。ここではマスの1辺1cmが250mを示す方眼を使用し、1, 1/2, 1/3, 1/4マスの総数から面積割合を算出した。
- 4) 町丁は市区町村下における区画であり、国勢調査

の人口統計などで用いられる。

- 5) ティーセン法は流域内の複数の観測所が支配する面積を幾何学的に配分する方法。流域内外観測所の2点ずつの垂直二等分線の交点によって多角形が描き出され、中心に位置する観測所がその多角形の面積を支配する。
- 6) 累積雨量は連続雨量とも呼ばれ、おもに河川関係で用いられる。降雨連続時間の定義はないが、八王子市、春日井市、nexco中日本では「6時間以上の無降雨」で累積雨量がリセットされる。本研究でも降雨連続時間は6時間とした。

参 考 文 献

- 飯田輝男 (1999)：東京都における水収支、地下水環境研究会 '99論文集, pp85～92
- 大森博雄 (2002)：高精度測定法による多摩川水系の水収支・物質収支の動態把握と河川水質形成機構の解明、とうきゅう環境財団研究助成, 学術研究vol.31-No.227
- 杉田倫明、田中正 [編著] (2009)：水文科学, 275p, 共立出版
- 尾上清利、佐藤典人 (1986)：愛媛県・石手川源流部に於ける水の流出について、水利科学30-4, pp77-92
- 田畑貞寿 (1979)：河川合流地点の自然環境変容からみた多摩川流域の環境保全と回復に関する研究、とうきゅう環境浄化財団, 学術研究015
- 東京都建設局 (2006)：多摩川水系浅川圏河川整備計画 (東京都管理区間), 東京都, 39p
- 東郷 正美 [共著] (2009)：地理調査法 (自然編), 343p, 法政大学通信教育部
- 都市再生機構 (2008)：八王子みなみ野シティまちづくりのあゆみ, 都市再生機構, 70p
- 土木学会 (1990)：水理公式集, 土木学会, 625p
- 宮田 正 (1969)：石神井川流域の都市化による流出変化と水害の傾向に関する考察 (第1報), 地理学評論, 42-10, pp667-680
- 森 和紀 (1988)：木曽三川～その流域と河川技術, 水収支, 1・6